

Los hilos de seda de las arañas: un biomaterial con futuro

Manuel Elices Calafat

Académico correspondiente

El equipo del Prof. M. Elices ha publicado uno de los estudios más completos, a nivel mundial, sobre las propiedades mecánicas de los hilos de seda de las arañas. La investigación se ha realizado principalmente con arañas *Argiope trifasciata*, especie común en las Islas Baleares. En la actualidad también trabaja en ingeniería de tejidos, basada en seda de arañas, en colaboración con los hospitales Puerta de Hierro, Clínico y 12 de Octubre (en Madrid) y Marqués de Valdecilla (en Santander).

El Prof. Elices es catedrático de Ciencia de Materiales en la Universidad Politécnica de Madrid, académico numerario de las Reales Academias de Ciencias, de Ingeniería, y de la National Academy of Engineering (EE.UU.).

En la batalla de Crécy, en 1346, los soldados mallorquines al servicio del rey francés Felipe VI llevaban en su botiquín unas cajitas repletas de telarañas para taponar posibles heridas. El combate, con victoria de los ingleses comandados por Eduardo III, demostró la eficacia del arco inglés usado en masa contra la caballería acorazada francesa y, según algunos historiadores, marcó el comienzo del declive de la edad de la caballería.

Las propiedades hemostáticas de las telarañas ya fueron descritas por Plinio el Viejo, hace unos 2.000 años. Aunque esta costumbre se ha abandonado entre los humanos parece ser que todavía se practica con los animales. El éxito relativo —cuando no se produce una infección— puede ser debido a que la seda de la telaraña está recubierta con hongos que contienen antibióticos para evitar que otros microorganismos se coman la tela. Aún así, si la telaraña no es reciente, lo más probable es que la herida acaba infectándose.

Pero la propiedad más destacable de los hilos de seda de las arañas es su excelente tenacidad; la capacidad de ser, a la vez, muy resistente y muy flexible. Tanto es así que hasta la fecha ninguna fibra artificial ha conseguido superarla. Se ha especulado que si fuéramos capaces de construir una red de pesca, con las mismas propiedades que los hilos de seda de las arañas, podríamos atrapar un avión en pleno vuelo. Las extraordinarias propiedades mecánicas de las fibras de seda de las arañas hacen que sean unas prometedoras

candidatas, en medicina, para la ingeniería de tejidos.

Cuando se selecciona un material para un implante, la opción tradicional es que sea inerte; para no entorpecer el crecimiento y la actividad natural de las células en contacto con el biomaterial. Este objetivo no ha sido siempre realista, por inevitable. Las nuevas tendencias en la ingeniería de tejidos se basan en buscar materiales que proporcionen a las células implantadas un sustrato —un andamio— para que se adhieran y un soporte físico que guíe la formación de nuevos órganos. Las células transplantadas adheridas al andamio, proliferan, segregan sus propias matrices extracelulares, y estimulan la formación de nuevos tejidos. Durante este proceso, el andamiaje se va degradando y puede llegar a desaparecer. El biomaterial de la armadura debe ser un material multifuncional; capaz de facilitar la adhesión de las células, estimular su crecimiento y permitir la diferenciación. También debe ser biocompatible, poroso, resistente, maleable y biodegradable. Los andamios fabricados con hilos de seda de las arañas cumplen todos estos requisitos.

Una aplicación prometedora de la ingeniería de tejidos es la producción de tejido óseo; la paulatina degradación de la matriz de seda permite controlar la deposición de hidroxapatita que acaba formando una matriz trabecular como la del hueso. Experimentando con ratas se ha comprobado que los implantes de este tejido óseo (desarrollados en biorreactores cinco

semanas antes) se integran bien e inducen la formación de hueso al cabo de pocas semanas. El tejido cartilaginoso es otra oportunidad para las sedas. Ya se han hecho intentos utilizando capullos de seda de la araña de jardín, *Araneus diadematus*, con resultados satisfactorios.



Con la seda de las arañas también se pueden fabricar microcápsulas para administrar fármacos. Estas cápsulas son biocompatibles, resistentes y fácilmente funcionalizables. Mediante ingeniería genética se ha fabricado una proteína, llamada C16, que imita parcialmente una proteína que segrega la araña. Las microcápsulas se forman cuando esta proteína se absorbe sobre microgotas de aceite que previamente se ha emulsionado en una solución acuosa. El tamaño de las microcápsulas se puede controlar ajustando el tamaño de las gotas; por este procedimiento se consiguen cápsulas entre 1 y 30 micras de diámetro. La microestructura de las cápsulas es parecida a la del hilo de seda de la araña y les confiere una gran resistencia y tenacidad, lo cual es necesario si tienen que almacenar ingredientes muy concentrados y soportar la elevada presión osmótica que van a generar. Otro aspecto muy interesante es la posibilidad de funcionalizar la proteína C16 durante su producción, adaptándose a las necesidades del fármaco. Para ello, si se incorporan determinadas secuencias de aminoácidos se puede conseguir que la membrana se degrade en presencia de enzimas específicas de los tejidos adonde va dirigido el medicamento.

Los secretos de la mecánica celular se van desvelando poco a poco gracias a las modernas técnicas experimentales. Una línea de investigación prometedora va dirigida hacia medir y entender la respuesta del citoplasma a los estímulos mecánicos externos. Así, por ejemplo, se ha observado que determinadas células cancerígenas tienen una respuesta más rígida que las normales, que la diferenciación de las células madre no sólo se debe a estímulos químicos externos

y que los estímulos mecánicos también dirigen este proceso; la estimulación sobre un sustrato rugoso induce osteogénesis mientras que las neuronas proliferan a partir de estimulaciones sobre sustratos lisos.

La imaginación de los fascinados por el asombroso potencial de los hilos de

seda de las arañas no tiene límites. Para medir la deformación en diversos puntos del citoplasma acaba de utilizarse satisfactoriamente un sensor que es un minúsculo muelle donde el ingrediente principal es un trocito de hilo de seda de araña —40 aminoácidos— que, como ya se ha comentado, es muy flexible y resistente. En los extremos del segmento de seda se han insertado dos proteínas fluorescentes y la medida de la variación en la fluorescencia de esta molécula química permite estimar localmente la deformación.

Parece evidente que para seguir avanzando en el conocimiento —en particular en los campos de la biología, medicina y de la salud— hacen falta equipos multidisciplinares en los que colaboren, codo a codo, médicos, biólogos, químicos, físicos, ingenieros e informáticos. La especialización en todos los campos es tan grande que solamente el trabajo con un equipo bien coordinado permitirá ir desvelando los secretos que esconde la Naturaleza.

Los hilos de seda de las arañas, como biomateriales, están destinados a tener un gran protagonismo en medicina por sus propiedades mecánicas, biocompatibilidad, estabilidad térmica y facilidad de esterilización, degradabilidad, y capacidad de modificarlos genéticamente. La exploración de sus posibilidades acaba de empezar y la medicina regenerativa ha puesto muchas esperanzas en estas sedas. Es muy posible que en el futuro, en el botiquín del soldado, se incluyan productos basados en estas fibras sustituyendo las antiguas cajitas con telarañas.